

RF simulation for RFQ designing at J-PARC linac

Takatoshi Morishita^{1,A)}, Yasuhiro Kondo^{A)}, Kazuo Hasegawa^{A)}, Fujio Naito^{B)}, Hiroshi Matsumoto^{B)}, Yoichiro Hori^{B)}

^{A)} Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

2-4 Shirakata-Shirane, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1195

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

The beam commissioning of J-PARC linac has been started since November 2006. After the scheduled shutdown in summer 2007, the beam is successfully delivered from the linac to the RCS. Since then, a stable beam provision was emphasized. However, the trip in the RFQ was increased at the end of Sept. 2008, then, the stability of the beam operation decreased. To improve this situation, we started to prepare a new RFQ cavity as a backup machine. The RF simulation is underway for the design of this backup RFQ. A basic estimation on the key components on RF properties such as a tuner, a dipole stabilizer, and a local field correction at the vacuum port are described in this proceeding.

J-PARC リニアックにおけるRFQ高周波設計

1. はじめに

J-PARC(Japan Proton Accelerator Research Complex: 大強度陽子加速器施設)は大強度陽子ビーム加速器とそのビームを使用する実験施設からなる複合研究施設である^[1]。

J-PARCでは2008年12月よりビーム供用が開始された。2008年秋の運転中、RFQでのトリップ回数が増加し、安定性が低下する事象が発生した^[2]。そこで、現在使用しているRFQのバックアップ機として、RFQを新規に製作することとした。表1に主なRFQパラメータを示す。このバックアップ機は、現在運転しているRFQのスペアという位置付けとし、セルパラメータは現有機と同一とすることで、設計時間の短縮と既存のリニアックへの互換性を確保する一方、運転の安定性を優先した設計検討を進めている。RFQ製作に向けた工学設計に関する進捗状況は本学会発表番号178にて報告し、ここでは、バックアップ機のRF設計検討に関して報告する。

表1：主要パラメータ

Design parameters	
Frequency [MHz]	324
Inter-vane voltage[kV]	82.9
Max. surface field [MV/m]	31.6(1.77 Kilpatrick)
Average bore radius [mm]	3.7
Vane-tip curvature [mm]	0.89r0 (3.293mm)

2. RF設計計算

2.1 モード安定化機構

J-PARCリニアック現有RFQでは、RFQ運転周波数近傍に存在するダイポールモードの影響を抑制するため、PISL's (π -mode stabilizing loops) が使用されている。PISL'sによって高いダイポールモード混入抑制効果が得られるが、一方でベインを貫通する部分に比較的高い電界が発生するため、放電の可能性も考えられる。そこで、バックアップ機においてはDSR's(Dipole Stabilizer Rods)を採用することとした。CST社製MICROWAVE STUDIOを使用し、ロッドの位置、長さ、および近接ダイポールモード周波数を計算した。

図1は端板側から見た計算モデルであり、端板から挿入されている棒がDSRである。本モデルにおいてロッドの位置(図1に示すd)を変化させ、ロッド挿入により運転モード(TE210)周波数に影響を与えない位置を求めた。

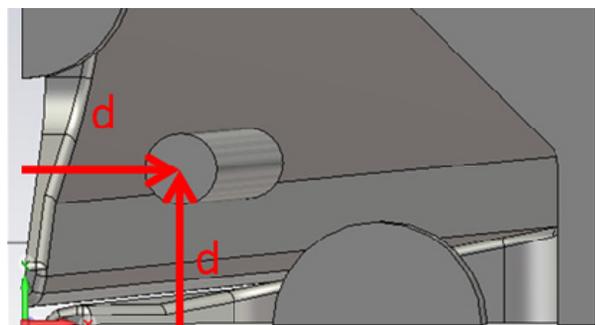


図1：DSRs計算モデル

¹ E-mail: takatoshi.morishita@j-parc.jp

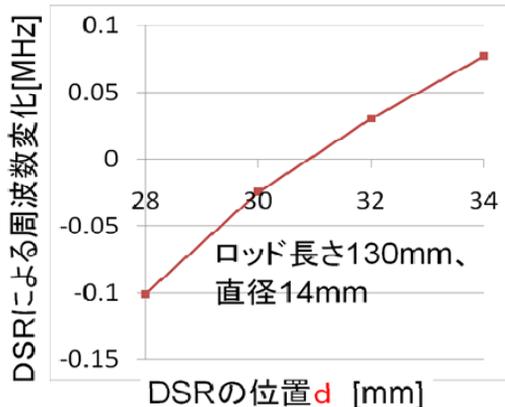


図2：DSR挿入による運転モード周波数変化

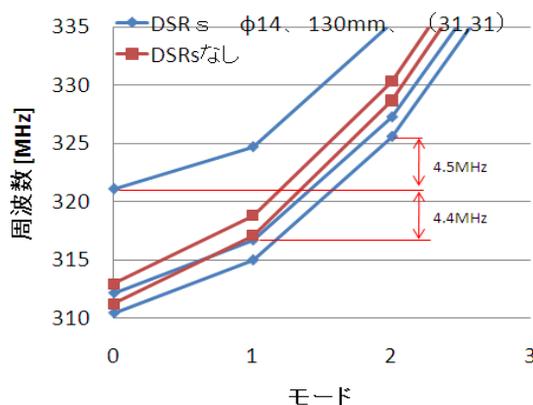


図3：DSR挿入による運転モード周波数変化

DSRの位置 d を変化させたときの運転モード周波数を計算し、ロッドを挿入しない場合の運転モード周波数との差を図2に示す。本計算ではDSRの直径および端板からの突出し長さは、それぞれ14mm、130mmとしている。DSRの位置 d がおおよそ31mmにおいて、運転モード周波数に与える影響が最小となっている。ロッドをこの位置に固定し、長さを変化させた場合の、近接するダイポールモードと運転モードの周波数差が最大になる位置を計算したところ、突出し長さとして130mmを得た。この場合の分散曲線を図3に示す。赤プロットがDSR無し、青プロットがロッド130mm挿入時の結果である。DSRなしの場合に比べ、運転モードと、それに最も近いダイポールモードの周波数差は2.3MHzから4.4MHzに変化した。空洞低電力調整時には、これらの寸法を基にして、DSRの位置、長さ等のチューニングを行う予定である。

2.2 チューナによる周波数調整幅と電場分布

全長およそ3mの空洞に対して、ほぼ均等に1クアドラントあたり6本、合計24本の固定チューナ（直径78mm）を使用して周波数、チルト、クアドラント間のバランスを調整する予定である。その準備として、チューナ挿入量による周波数感度を評価した。計算モデルは対称性を考慮して1クアドラントとし、

全長の1/6を計算区間としたもの（メッシュ刻み：ベイン近傍0.5mm、チューナ近傍挿入方向0.2mm、その他1.3mm）と、エンドカットを含む体系（1/2空洞）を計算領域としたもの（メッシュ刻み：ベイン近傍0.5mm、チューナ近傍挿入方向1.0mm、その他2.0mm）とで比較した。図4に全チューナを同量挿入した場合の運転モードの周波数変化を示す。計算に使用したPCのメモリ制限（12GB搭載）により、計算区間1/6と1/2でメッシュの粗さが異なるため、挿入量が多い領域において傾きが異なる結果となっているが、その差は微小であり、チューナ感度の評価におけるメッシュの細かさは十分取れていると考えている。計算区間1/2空洞体系における、空洞中心から横方向位置（2mm、2mm）の4極電場成分の軸方向分布を、チューナ挿入量を変化させて計算したものを図5に示す。チューナ挿入量0mmはチューナ先端が空洞内面と同じになる位置を示すが、隙間やチューナ先端エッジおよび穴のエッジ部の面取加工（R2）により、4極電場の若干の乱れも見て取れる。

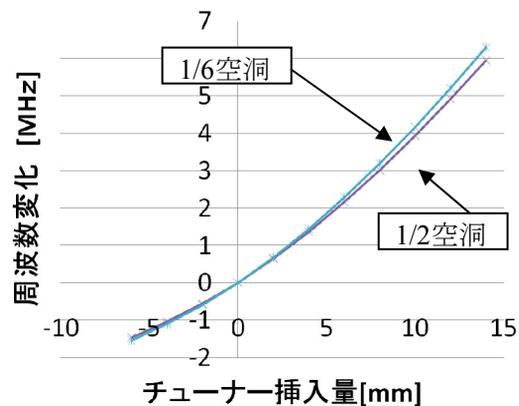


図4：チューナ挿入量に対する周波数変化

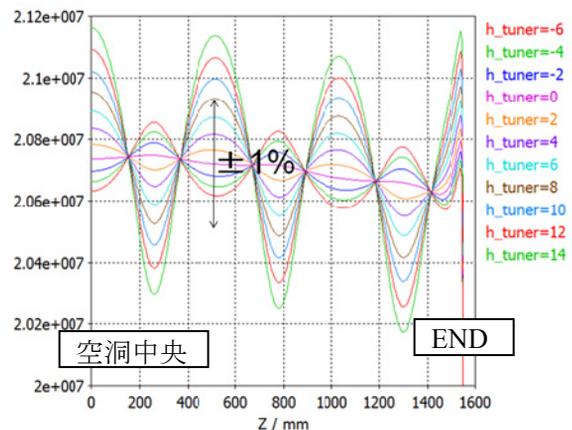


図5：4極電場成分の軸方向分布

図5において、チューナ挿入による4極電場の乱れは挿入量8mm程度でおよそ $\pm 1\%$ 程度見られる。この範囲（ $\pm 8\text{mm}$ ）において、図4からおおよそ4.5MHz程度の周波数調整が可能であり、チューナ一本当たりの周波数感度はおよそ14kHz/mmであった。しかしながら、空洞チューニング時には、周波数調整のほ

かにチルト補正、クアドラントバランス補正等により調整可能な周波数領域は小さくなると考えられる。

2.3 排気スリットによる電磁場非一様性の補正

バックアップ機はおよそ3mの空洞を3分割し、フランジにより連結して一つの空洞を形成する方式としている。空洞側面に設ける真空排気用ポートは上流および下流のモジュールに各4か所、中央のモジュールはインプットカップラ^[3]の取り付けのため、排気用ポート2か所を想定している。排気ポートに磁場が染み出すことにより、ポート近傍の4極磁場強度分布にひずみが生じる。そこで、空洞内面を内側に盛り上げることにによりこのひずみを補正することとした。

図6に示すように、スリット部近傍の空洞内面（赤色部）を高くして、周波数、および4極電場成分の軸方向分布を評価した。計算区間は空洞の1/2とし、長手方向両端部の境界条件はMagneticとしている。スリット部はR2加工とし、内壁と盛り上げた部分の境界は、その厚みでのC面加工とした。スリットは290mm区間に幅8mm、1ポートあたり20本（スリットの間隔は14.8mm）としている。

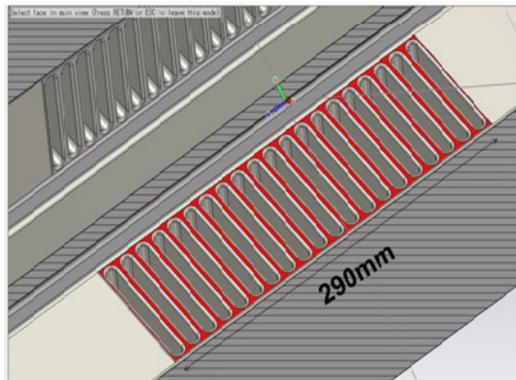


図6：スリット部補正モデル

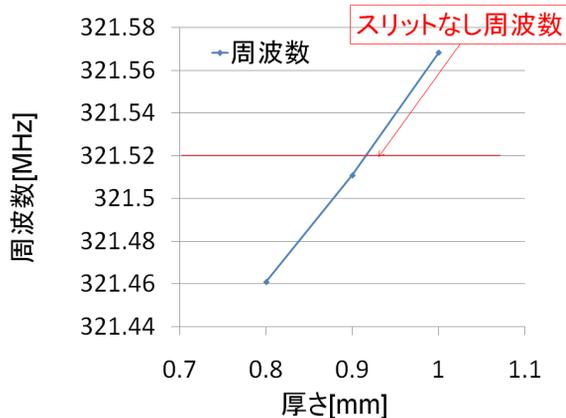


図7：周波数変化

図6に示すように、幅290mmの比較的大きな領域にスリットを集中して設置した場合、4極電場成分の軸方向分布は数%の非一様性が発生するが、図7

および図8に示すように、スリットによる周波数変化（図7）および4極電場成分の軸方向分布（図8）は0.9mm程度の内面盛り上げ加工により補正することが可能である。

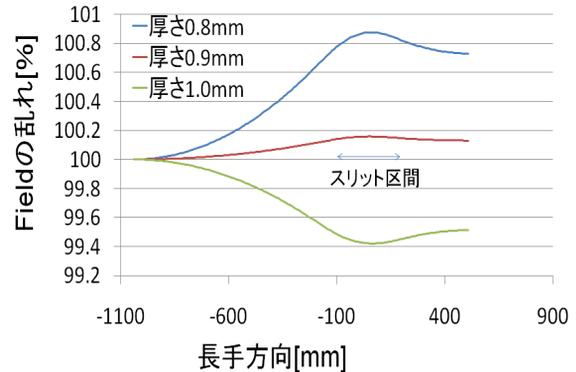


図8：4極電場成分の軸方向分布

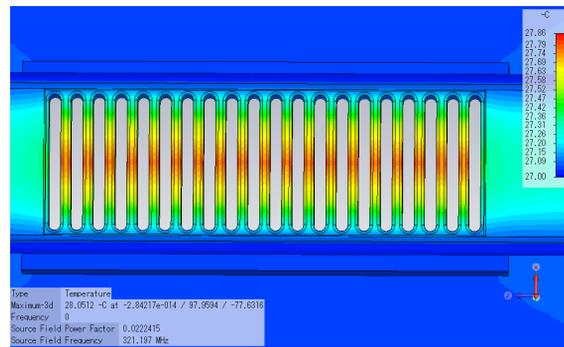


図9：スリット近傍の表面温度分布

スリット区間では、スリットとスリットの間の空洞内面に表面電流が集中するため、Duty3%の定格運転を想定した表面温度上昇を確認した。その結果を図9に示す。冷却水の水温上昇は0.2°C程度であると想定されるので、本計算では、冷却配管内面を27°C（冷却水温度）に固定した評価である。スリット中央部において最高で0.9°Cの表面温度上昇がみられるが、空洞の変形によるRFへの影響は微小であると考えている。

3. まとめ

J-PARCリニアックのRFQバックアップ機製作に向けて、RF設計を進めている。空洞加工寸法の決定のため、本発表で報告した内容のほかに、空洞端部ENDCUT部、冷却水温度調整による周波数調整、モジュレーションにより発生するチルトの補正等の検討が残っており、順次進めていく予定である。

参考文献

- [1] Y. Yamazaki ed., "J-PARC Technical Design Report", KEKReport 2002-13, JAERI-Tech 2003-44.
- [2] K.Hasegawa et al., in these proceedings.
- [3] Y. Kondo et al., in these proceedings.